

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Rok 2010

Michal Bezecný

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Katedra elektroenergetiky**

**Termovizní diagnostika rozvodné sítě VŠB-  
TU Ostrava**

Infrared Diagnostics of Electric Distribution Network of  
the VSB- Technical University of Ostrava

Rok 2010

Michal Bezecný

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7. 5. 2010

.....  
Michal Bezecný

## Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D. a Ing. Miroslavovi Hrabčíkovi za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této práce.

## Abstrakt

Bakalářská práce na téma Termovizní diagnostika rozvodné sítě VŠB-TU Ostrava, kterou jsem zpracoval, je zaměřena na bezdotykové měření hodnoty teploty vodičů, pojistek a elektroenergetických přístrojů a zařízení. Měření bylo realizováno v rozvodnách budovy „N“ a „A“ v areálu VŠB-TUO. V dnešní době se zjišťování teplot provádí přístroji, které zobrazí teplotu povrchu snímaného zařízení. Přístroje na měření tohoto problému jsou různé, nejčastěji se používají termokamery. V mé práci jsem se zaměřil i na několik druhů pyrometrů a bolometrů. Tato metoda měření je rozsáhlá díky své rychlosti a možnosti neodpojení zařízení z provozu nebo jeho poškození. V příloze je přiložena Termovizní zpráva, která byla zhotovena po zjištění závad v rozvodnách budov „N“ a „A“.

## Klíčová slova

Tepeľné záření, teploměry, měření teploty, emisivita, termovize, elektroenergetika

## Abstract

The Bachelor thesis on the theme Infrared Diagnostics of Electric Distribution Network of the VSB- Technical University of Ostrava which I worked up is centred to the contactless measurement of the temperature of the current leads, the fuses and the power engineering apparatuses and equipments. The measurement was realized in the distribution points of the buildings „A“ and „N“ on the premises VSB – Technical University of Ostrava. In the present time the recognition of the temperatures is done by the apparatuses which depict the temperature of the surface of scanned equipment. The apparatuses for the measurement of this problem are different, the termocameras are more often used. My work is centred to several kinds of the pyrometers and the bolometers. This method of the measurement is extensive thanks to its velocity and its possibility of the non-disconnection equipment from operation or its damage. There is the termovision report in the suplement. The termovision report was made after the recognition of the defects in the distribution points of the buildings „N“ and „A“.

## Keywords

Thermal Radiation, Temperatures, Temperature Measuring, Emissivity, Thermovision, Electric Power Engineering

## Seznam některých použitých symbolů

$c$	rychlost elektromagnetického vlnění ve vakuu	$(\text{m.s}^{-1})$
$\epsilon_r$	relativní permitivita prostředí	$(\text{F.m}^{-1})$
$\mu_r$	relativní permeabilita prostředí	$(\text{H.m}^{-1})$
$H_e(\lambda)$	spektrální hustota intenzity vyzařování	$(\text{W.m}^{-2})$
$\alpha(\lambda)$	spektrální pohltivost	$(-)$
$T$	teplota	$(\text{K})$
$\lambda$	vlnová délka	$(\mu\text{m})$
$W_f$	energie fotonů	$(\text{eV})$
$W_g$	šířka zakázaného pásma polovodiče	$(\text{eV})$
IR	infra-červený (infra-red)	$(-)$
$T_s$	teplota povrchu tělesa	$(\text{K})$
$T_c$	teplota černého tělesa	$(\text{K})$
$L_c$	zář černého tělesa	$(\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1})$
$\epsilon$	emisivita	$(-)$
$L_{\lambda 1}$	dopadající zář při vypnutém laseru	$(\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1})$
$L_{\lambda 2}$	dopadající zář při zapnutém laseru	$(\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1})$
$L_L$	dopadající zář na laser	$(\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1})$
$b$	konstanta Wienova zákona	$(\text{m.K})$
$M_e$	intenzita vyzařování	$(\text{W.m}^{-2})$
$\sigma$	konstanta Stefan-Boltzmannova zákona	$(\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4})$

## Obsah:

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEPELNÉ ZÁŘENÍ .....</b>	<b>2</b>
2.1	KVANTOVÉ DETEKTORY.....	2
2.2	BEZDOTYKOVÉ TEPLoměRY.....	4
2.2.1	<i>Princip měření.....</i>	<i>4</i>
2.2.2	<i>Vlivy působící při měření bezdotykovými teploměry .....</i>	<i>5</i>
2.2.3	<i>Chyby bezdotykového měření teploty .....</i>	<i>6</i>
2.3	METODY ZMENŠENÍ TEPLOTNÍ CHYBY: .....	7
2.4	APLIKAČNÍ MOŽNOSTI BEZDOTYKOVÝCH TEPLoměRŮ.....	7
2.5	TEPELNÉ DETEKTORY .....	8
<b>3</b>	<b>PYROMETRY .....</b>	<b>10</b>
3.1	ÚHRNNÉ PYROMETRY .....	10
3.2	MONOCHROMATICKÉ PYROMETRY.....	11
3.3	PÁSMOVÉ PYROMETRY.....	11
3.4	POMĚROVÉ PYROMETRY .....	12
3.5	PYROMETRY S AUTOMATICKOU KOREKČÍ EMISIVITY .....	12
<b>4</b>	<b>BOLOMETRY .....</b>	<b>13</b>
4.1	HLAVNÍ VLASTNOSTÍ BOLOMETRŮ:.....	13
4.2	POUŽITÍ BOLOMETRŮ .....	13
4.3	PRINCIP BOLOMETRU .....	14
4.4	MIKROBOLOMETRY.....	15
<b>5</b>	<b>ZÁKLADNÍ ZÁKONY PRO PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM.....</b>	<b>16</b>
5.1	WIENŮV ZÁKON .....	16
5.2	STEFAN-BOLTZMANNŮV ZÁKON .....	16
<b>6</b>	<b>EMISIVITA.....</b>	<b>17</b>
6.1	METODY K ZÍSKÁNÍ HODNOTY EMISIVITY .....	17
<b>7</b>	<b>TERMOKAMERY .....</b>	<b>19</b>
7.1	PRINCIP TERMORIZNÍHO SYSTÉMU .....	20
<b>8</b>	<b>PŘEHŘÍVÁNÍ VEDENÍ .....</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ V ROZVODNÁCH ELEKTRICKÉ ENERGIE NA VŠB-TUO.....</b>	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>26</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>27</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Fotodiodový detektor .....	3
Obr. 2 Fotorezistor .....	3
Obr. 3 Elektromagnetické spektrum .....	4
Obr. 4 Velikost zorného pole pyrometru a zaměření měřeného objektu.....	6
Obr. 5 Zář dopadající na detektor z černého a reálného zářiče při zanedbání spektrální propustnosti objektivu a spektrální citlivosti detektoru .....	10
Obr. 6 Pyrometr.....	11
Obr. 7 Princip poměrového pyrometru .....	12
Obr. 8 Bolometr .....	13
Obr. 9 Princip bolometru .....	14
Obr. 10 Struktura integrovaného můstku z bolometrů.....	14
Obr. 11 Princip konstrukčního uspořádání bolometru .....	15
Obr. 12 Skutečné provedení mikrobolometru .....	15
Obr. 13 Termokamera FLIR E45 .....	20
Obr. 14 Schematický náčrt obecného termovizního systému (1 – okolí, 2 – objekt, 3 – atmosféra, 4 – kamera/snímač) .....	20
Obr. 15 Graf zatížení budovy G v areálu VŠB-TUO.....	24
Obr. 16 Termovizní snímek nožové pojistky .....	25

## Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty emisivity.....	17
Tab. 2 Parametry termokamery FLIR E45.....	19
Tab. 3 Nejvyšší dovolená teplota jader vodičů a kabelů při proudovém přetížení a při zkratu ..	22



# 1 Úvod

V současné době se infračervené záření může dělit na různá pásma podle vlnového rozsahu technologického hlediska. První pásmo A zahrnuje délku vlnového pásma  $0,76 - 1,4\mu\text{m}$ , střední pásmo B zahrnuje  $1,4 - 3\mu\text{m}$  vlnového pásma a dlouhovlnné pásmo vlnových délek C nad  $3\mu\text{m}$ , které přechází přibližně v pásmu  $100\mu\text{m}$  do oblasti rádiových vln. V pásmu A projde parami v zemském ovzduší jen málo paprsků slunečního spektra a jen málo jsou absorbovány vodou. Pásmo B se téměř úplně pohltí vodou, prochází zemskou atmosférou i sklem. U pásma C mohou být elektricky zahřívaná tělesa nebo třeba žhavé spirály, kde je tento jev ještě zesílen.

V elektrotechnice umožňuje termovizní diagnostika rychlý přehled rozložení teplot na povrchu měřeného objektu. Stanovení a znázornění rozložení teploty na povrchu zařízení se provádí metodou bezkontaktního měření, která je velmi jednoduchá. Stačí jednoduše namířit na měřený objekt a na displeji odečíst hodnotu.

K termovizní diagnostice používáme snímací zařízení infračerveného záření (termokamery), které pomocí sálavé teploty měřeného zařízení poskytuje zobrazení. Termovizní kamery (termokamery) odhalí zejména výrazné teplotní odchylky v místech, které vznikají v elektrotechnice při nepřiměřeném zatížení, zvýšení přechodového odporu nebo destrukci části zařízení. V praxi se potvrdilo, že tyto kamery vedou ke zvyšování spolehlivosti provozovaných zařízení nebo dodávky elektrické energie a také za prostředek vedoucí k úspoře času a nákladu na preventivní odstávku zařízení.

V první části mé bakalářské práce se věnuji obecné problematice tepelného záření, v následujících kapitolách pak popisu pyrometrů a bolometrů. V další části se zabývám legislativními opatřeními, která souvisí s danou problematikou. V kapitole o emisivitě se zmiňuji o její důležitosti při měření. Termokamerám je věnována samostatná kapitola. V předposlední části se věnuji problému přehřívání vedení. Nakonec mé bakalářské práce provádím vlastní analýzu, ze které vycházejí návrhy a doporučení, uvedené v příložené technické zprávě.

## 2 Tepelné záření

Tepelným zářením se rozumí elektromagnetické vlnění, přičemž se přenáší energie. Záření, jež přenáší tepelnou energii, se nazývá tepelné záření. Tepelné záření je emitováno povrchem všech těles, jejichž teplota je vyšší, než 0 K. Vyzařované spektrum je spojitě, jako následek dějů v atomech a molekulách látek s vyzařovaným čárovým spektrem. Vyzařující těleso se skládá z molekul a ty z atomů, které kmitají v silovém poli ostatních molekul a atomů, tzn., konají tepelný pohyb. Energie tohoto kmitavého pohybu se jednak přenáší na sousední částice, jednak přechází do okolního prostoru formou elektromagnetických vln. Vyzářená energie jde na účet energie tepelného pohybu částic tělesa, a proto se vyzařováním těleso ochlazuje. Z pohledu jednotlivých atomů je pochod vyzařování nahodilým jevem, řídí se proto statistickými zákony. Tomu také odpovídá spojitě vyzařované spektrum.

Vyzařující povrch těles je složen z velkého počtu elementárních zářičů (elektromagnetických oscilátorů), z nichž se šíří zářivá energie do prostoru.

Přenos se děje rychlostí

$$v = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\varepsilon_r \cdot \mu_r} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad 2.1$$

kde „c“ je rychlost elektromagnetického vlnění ve vakuu,  $\varepsilon_r$  je relativní permitivita prostředí,  $\mu_r$  je relativní permeabilita prostředí. Energie se při elektromagnetickém vlnění přenáší tím směrem, jímž se vlnění šíří. Teplotní záření je náhodného charakteru, tj. není zářením koherentním. V termodynamické rovnováze je takové záření popsáno Kirchhoffovým vyzařovacím zákonem pro monochromatické záření

$$\frac{H_e(\lambda)}{\alpha(\lambda)} = f(T, \lambda) \quad 2.2$$

Podíl spektrální hustoty intenzity vyzařování  $H_e(\lambda)$  teplotního záření a spektrální pohltivosti  $\alpha(\lambda)$  je funkcí teploty T, vlnové délky  $\lambda$  a není závislá na vlastnostech zářiče.

[ 1 ]

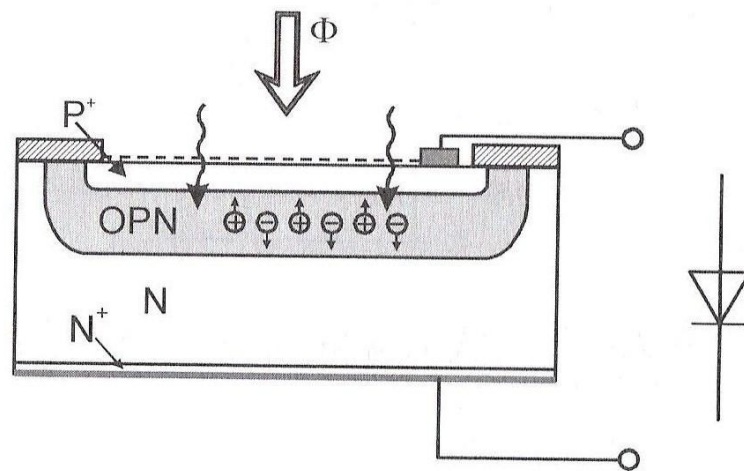
### 2.1 Kvantové detektory

Podstatou kvantových detektorů je fyzikální jev, při kterém při interakci dopadajících fotonů dochází ke generaci párů elektron-díra. Při teplotě vyšší než je absolutní nula a při splnění podmínky  $W_f \geq W_g$ , kde  $W_f$  je energie fotonů a energie  $W_g$  udává šířku zakázaného pásu polovodiče, dochází k uvolnění elektronu a jeho přechodu na vyšší energetickou hladinu.

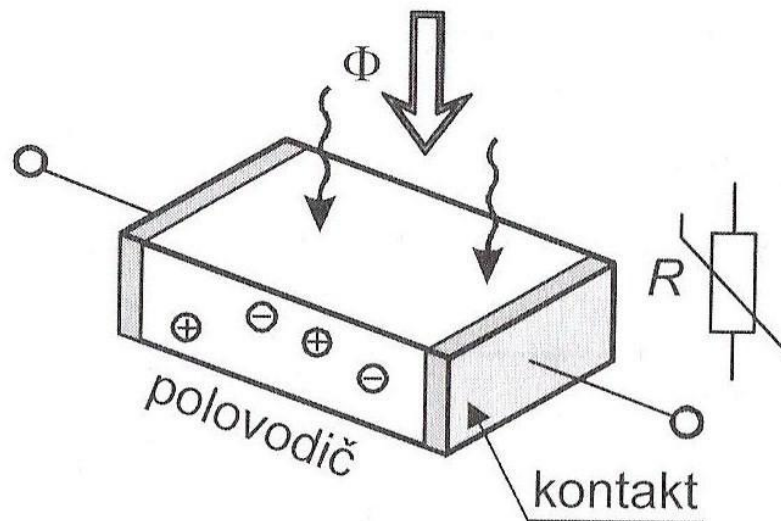
Kvantové detektory jsou polovodičové detektory a dle typu polovodiče se dělí na:

- **Intrinsický detektor**, který je vyroben z čistého polovodiče, využívá změny pohyblivosti nosičů nábojů při dopadů fotonů na polovodičovou vrstvu (Obr. 1) a jeho vodivost je funkcí fotonového toku neboli detektor pracuje v tzv. fotovodivostním módu a vyžaduje elektrické pole přivedením vnějšího napětí. Elektrické pole způsobí unášení nosičů náboje a vnějším obvodem pak prochází elektrický proud.
- **Extrinsický detektor** je založen na PN struktuře z extrinsických polovodičů, u nichž hustota nábojů je dána koncentrací příměsí

[ 2 ]



Obr. 1 Fotodiodový detektor



Obr. 2 Fotorezistor

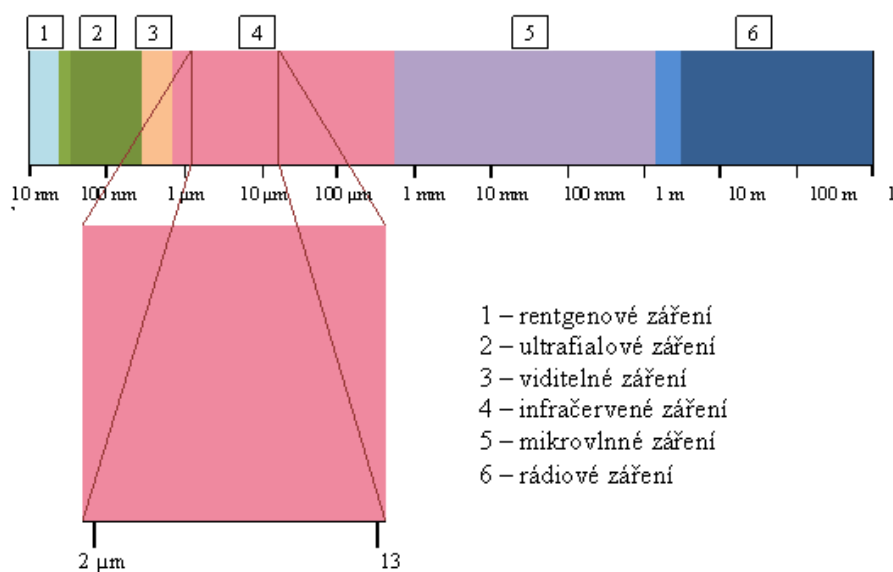
## 2.2 Bezdotykové teploměry

Bezdotykové teploměry doznaly v poslední době značného pokroku a rozšíření díky rozvoji v elektronice a optice. Přístroje byly původně označovány jako radiační pyrometry nebo radiační teploměry, nyní často jako IR-teploměry. Radiační pyrometry nacházely původně uplatnění v takových provozech a aplikacích, kde bylo třeba měřit vysoké teploty často v malém prostoru, kde nebylo možno použít dotykový teploměr. Jednalo se zejména o aplikace v metalurgii, chemickém a zejména silikátovém průmyslu (sklářství, cementárny, vápenky, keramický průmysl). V průběhu posledních let se aplikace IR-teploměrů posunula k nižším teplotám, včetně měření teplot nižších než 0 °C, takže se s nimi setkáváme v potravinářství, elektronice, průmyslu papírenském, farmaceutickém, textilním, gumárenském, při zpracování plastických hmot apod. Přenosné IR-teploměry nacházejí široké uplatnění při detekci tepelných ztrát a poruch, při kontrole potrubních systémů, nádrží apod.

[ 4 ]

### 2.2.1 Princip měření

Na Obr. 3 je elektromagnetické spektrum Obr. 3 rozděleno (na základě úmluvy) podle vlnových délek do několika skupin, tzv. vlnových pásem.



Obr. 3 Elektromagnetické spektrum

Přístroje pro bezkontaktní měření teplot využívají vlnové pásmo infračerveného (IR) záření. Pásmo IR záření začíná tam, kde končí tzv. viditelné pásmo (tmavě červená), a končí v místě, kde začíná pásmo mikrovln. Pásmo IR záření se ještě dále dělí do několika dílčích pásem, a to na blízké IR (0,75 až 3 μm), střední IR (3 až 6 μm), vzdálené IR (6 až 15 μm) a velmi vzdálené (15 až 100 μm). Z hlediska praxe jsou pro termografické systémy nejčastěji využívána pásma:

NIR (Near Infrared, blízké IR) 0,9 až 2,5  $\mu\text{m}$ ,  
SW (Short Wave, krátkovlnné) 2,5 až 5  $\mu\text{m}$ ,  
LW (Long Wave, dlouhovlnné) 7 až 14  $\mu\text{m}$ .

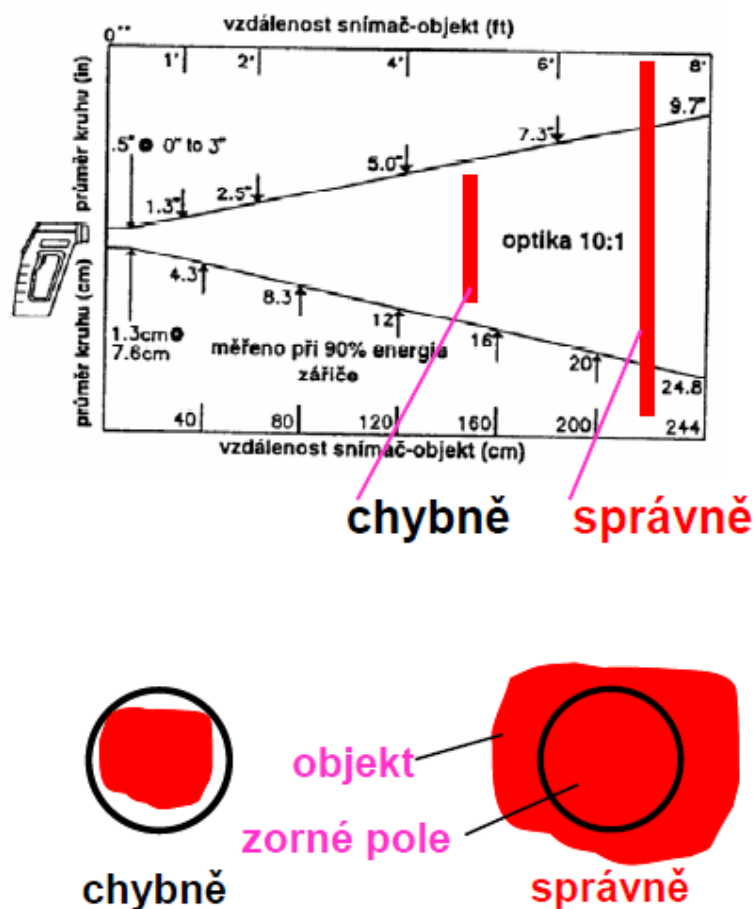
Krátkovlnné systémy se uplatňují při měření zejména vysokých teplot. Vzhledem k použitým vlnovým délkám je třeba volit detektory, které zpravidla vyžadují chlazení. Ve většině aplikací, při kterých se zjišťuje teplota nebo její rozložení, jsou pro nižší energetickou náročnost (nepotřebují chlazení), menší rozměry a hmotnost vhodné kamery s dlouhovlnnými systémy, využívající převážně nechlazený maticový detektor – mikrobolometr.

[ 5 ]

### **2.2.2 Vlivy působící při měření bezdotykovými teploměry**

Předpokladem správné funkce radiačních nebo pásmových pyrometrů je dodržení správné velikosti zaměřovací plošky na tělese, jehož teplota se měří. Velikost této plošky závisí na zaměřovacím úhlu pyrometru, na vlastnostech optické části pyrometru (ohnisková délka), na velikosti účinné plochy detektoru a na zaměřovací vzdálenosti. Vztah mezi zaměřovací vzdáleností a rozměrem měřené plochy výrobci většinou uvádějí v podobě grafu nebo tabulky. Při měření musí plocha měřeného objektu zcela vyplňovat zorné pole pyrometru. Pokud je tato podmínka splněna, tak výsledek měření je nezávislý na vzdálenosti přístroje od měřeného objektu. Nesplnění tohoto požadavku vede k chybným výsledkům měření, protože se měří průměrná teplota pozorované oblasti, tj. měřeného objektu a jeho okolí. Velikost snímané plochy roste se čtvercem vzdálenosti mezi pyrometrem a měřeným objektem. Souvislost mezi velikostí zorného pole IR teploměru a plochou snímaného objektu je patrná z Obr. 4.

[ 4 ]



Obr. 4 Velikost zorného pole pyrometru a zaměření měřeného objektu

### 2.2.3 Chyby bezdotykového měření teploty

Přesnost měření je závislá např. na následujících faktorech daných:

a) měřeným předmětem:

- materiálem, tvarem, rozměry, umístěním v prostoru
- emisivitou, odrazivostí a propustností v měřeném místě povrchu předmětu
- směrovou závislostí, vyzařováním, polarizací záření
- úhlem mezi normálou měřeného povrchu a optickou osou pyrometru
- ovlivněním skutečné hodnoty emisivity drsností povrchu, stopami po opracování, poškrábáním, vrstvou barvy, oxidů, vody, oleje atd.

b) prostředím:

- tlakem a vlhkostí vzduchu, plyny, prachem, vodní mlhou, atd.
- teplotou prostředí a teplotou pozadí předmětu
- vzdáleností mezi měřenou plochou a vstupním otvorem pyrometru
- působením dutin pecí, použitím žhavených trubek a ochranných tubusů.

c) vlastním pyrometrem:

- citlivostí
- teplotní rozlišovací schopností
- šířkou a polohou spektrální oblasti
- nesprávným určením  $\varepsilon$ ,  $\lambda_{ef}$
- teplotou pláště přístroje
- polohou přístroje při měření
- parametry cejchovního zářiče.

Emisivita povrchu měřeného materiálu má podstatný vliv na výslednou chybu. Obvykle je teplotní chyba stanovována vůči černému tělesu ( $\varepsilon=1$ ). To je důvodem, proč většina pyrometrů má zabudovanou korekci na emisivitu měřeného tělesa. Problém spočívá v tom, že většinou není známa skutečná hodnota emisivity povrchu měřeného tělesa.

### ***2.3 Metody zmenšení teplotní chyby:***

- stanovením emisivity pomocí tabulek,
- stanovením emisivity pomocí skutečné teploty změřené např. dotykovým (kontaktním) způsobem (termočlánkem), převážně u stacionárních pyrometrů (se zabudováním korekcí do vyhodnocovacího programu),
- použitím poměrových pyrometrů,
- použitím multispektrálních a učících se systémů,
- měřením emisivity laserovým paprskem s následnou korekcí (např. pyrometr typu Pyrolaser).

[ 1 ]

### ***2.4 Aplikační možnosti bezdotykových teploměrů***

Bezdotykové teploměry se vyrábí buď jako přenosné přístroje sloužící pro příležitostná měření, nebo jako stabilní přístroje pro nepřetržitá měření.

Přenosné pyrometry bývají kompaktní přístroje a slouží většinou k příležitostnému měření. U kompaktních přenosných přístrojů tvoří optická část s detektorem, elektronikou, indikátorem a napájecími obvody jeden celek. Tyto přístroje jsou určeny pro měření obsluhovatelem. Přenosné přístroje mají bateriové napájení a nejsou uzpůsobeny pro zapojení do regulačního obvodu. Vyžadují periodické nabíjení napájecího zdroje.

Stabilní pyrometry jsou napájeny síťovým napětím a jsou instalovány ve vhodném místě pro kontinuální monitorování daného procesu. Přístroj tvoří obvykle dva samostatné celky. Snímací část, která obsahuje optiku a detektor záření, se umísťuje v blízkosti měřeného objektu. Optika může být pevně zaměřena na určitý bod nebo může ve spojení s mechanickým zařízením snímat širší oblast. Vyhodnocovací zařízení s elektronickými obvody se umísťuje v dohledu či na vhodném místě anebo je součástí nadřazeného měřicího a řídicího systému. Pyrometrické snímače bývají zabudovány tak, aby mohly trvale sledovat určitou plochu měřeného povrchu (zářiče). Při některých aplikacích je nutné těleso pyrometru chladit. Jeho teplota ovšem musí být vyšší než teplota rosného bodu. To se týká zejména optiky, jejíž orosení by působilo velkou chybou měření. Horké plyny a plameny jsou selektivními zdroji záření, jejichž teplotu může běžný pyrometr měřit jen stěží. Je proto vhodné umístit do topeniště na jednom konci uzavřenou žárovou trubici a pyrometr zaměřit na její dno.

[ 5 ]

## **2.5 Tepelné detektory**

Tepelné detektory se vyznačují tím, že dopadající vstupní záření je pohlcováno jeho aktivní plochou. To vede na zvýšení jeho teploty. Spektrální rozdělení nemá (téměř) žádný vliv na teplotní změny. Vstupní signál tepelných detektorů je proto v principu (téměř) nezávislý na vlnové délce dopadajícího záření – je tedy neselektivní. Povrch detektoru má ale pro různé vlnové délky rozdílnou absorpci, nelze tedy absolutní neselektivnosti dosáhnout. Teplotní změny citlivého elementu vlastního detektoru představují relativně pomalý proces. Proto časová konstanta tepelného detektoru je zpravidla o několik řádů větší, než konstanta fotodetektoru. Ve velmi hrubém přiblížení lze konstatovat, že časová konstanta tepelného detektoru je v milisekundové oblasti, kdežto u fotodetektoru se pohybuje v mikrosekundové oblasti.

U tepelných detektorů obecně bývá relativně vysoká citlivost daná širokým absorbovaným spektrem a velkým poměrem signál – šum, vyvolaným velkými teplotními změnami citlivého elementu dopadajícím zářivým tokem.

Vzhledem k tomu, že teplotu detektoru nelze měřit přímo, převádí se na jinou veličinu. Používané typy převodníku jsou následující:

- Termoelektrické detektory – využívají změnu termoelektrického napětí dvojice vodičů vlivem rozdílu teplot mezi měřícím (ozářeným) spojem a srovnávacím (zatemněným) spojem.
- Bolometry – využívají změnu elektrického odporu elementu detektoru na základě změny jeho teploty.
- Pyroelektrické detektory – využívají teplotní změnu elektrostatické polarizace.



Další známé principy detekce tepelného stavu detektoru, dnes již nepoužívané, jsou:

Pneumatické detektory – které využívají teplotní změnu tlaku plynu v uzavřeném prostoru tzv. Golayovy cely způsobenou absorpcí vstupního ozáření.

Kapalné krystaly – využívají teplotní změnu krystalické struktury.

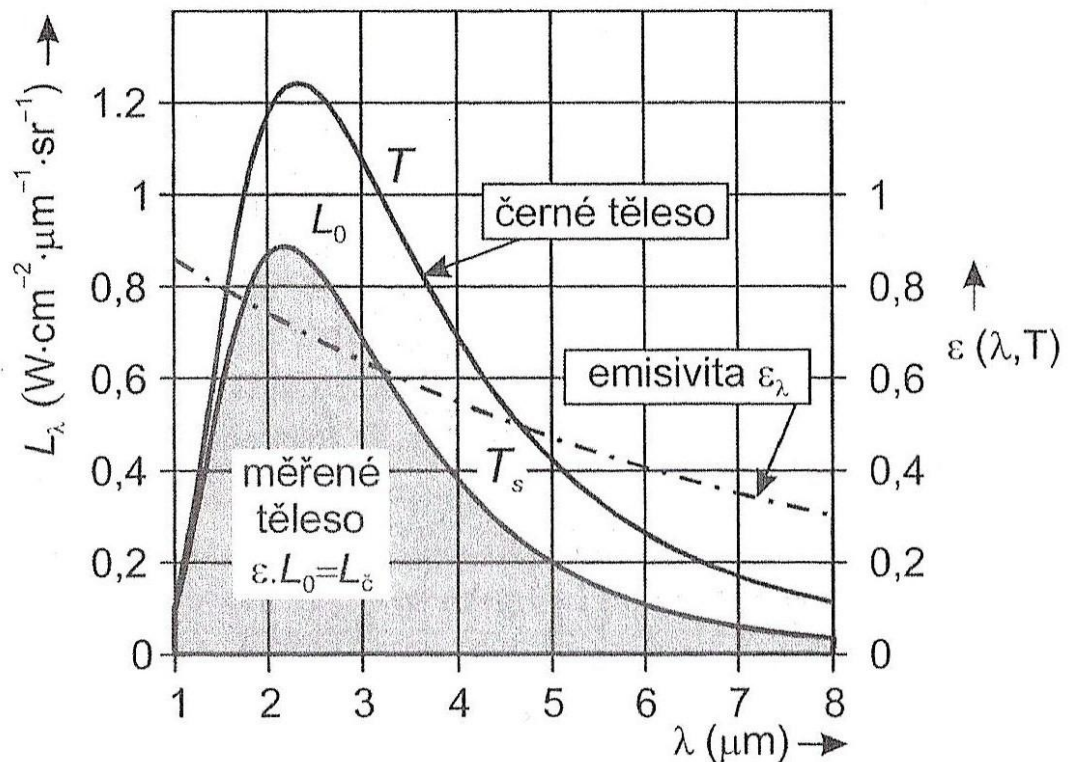
Evaporografy – využívají rychlosti vypařování způsobenou absorpcí vstupního záření.

[ 1 ]

### 3 Pyrometry

#### 3.1 Úhrnné pyrometry

Tyto pyrometry jsou určeny pro měření teploty pomocí Stefan-Boltzmannova zákona (5.2), to znamená, že tepelné záření vyhodnocují v celém spektru vlnových délek od  $\lambda=2\mu\text{m}$  do  $\lambda=13\mu\text{m}$  (viz příklad na Obr. 5). Požadavku měření v celém spektru vyhovují pouze tepelné detektory. Zářivý tok se zaostřuje na detektor soustavou čoček z materiálů se širokým spektrem prostupnosti nebo zrcadlem se širokým spektrem odrazivosti. Vzhledem k tomu, že ani spektrální pohltivost detektoru není ideální, dochází u technické realizace ke spektrálnímu omezení. Pokud zanedbáme výše uvedené spektrální omezení, pak za předpokladu nulové hodnoty odrazivosti měřeného objektu  $\rho=0$  platí Stefan-Boltzmannův zákon (5.2)



Obr. 5 Zář dopadající na detektor z černého a reálného zářiče při zanedbání spektrální propustnosti objektivu a spektrální citlivosti detektoru

Nastavíme-li na pyrometru hodnotu emisivity  $\epsilon=1$ , pak při měření povrchové teploty  $T_s$  reálného tělesa, jehož emisivita je menší než 1, nebude změřená hodnota teploty odpovídat skutečné teplotě povrchu reálného tělesa, ale takové teplotě  $T_c$ , při níž by byla zář  $L_c$  černého

tělesa právě stejná jako zář reálného tělesa. Neboli změřená teplota  $T_\epsilon$  bude vždy nižší než skutečná teplota  $T_s$

$$T_s = T_\epsilon^4 \sqrt{\frac{1}{\epsilon}} \quad 3.1$$

### 3.2 Monochromatické pyrometry

Je to spektrálně selektivní pyrometr založený na závislosti spektrálního vyzařování tělesa při dané vlnové délce na teplotě. Při nekonečně úzké šíři vlnového pásma, to znamená pro diskrétní hodnotu vlnové délky, platí Wienův zákon (5.1). Ve skutečnosti nelze vyrobit zcela monochromatický pyrometr, takže se vždy měří v úzkém vlnovém pásmu  $\Delta\lambda$ , které je dáno spektrální citlivostí kvantového detektoru, spektrální propustností optiky, ale hlavně spektrální propustností interferenčních filtrů, které zajistí monochromatické měření teploty.

### 3.3 Pásmové pyrometry

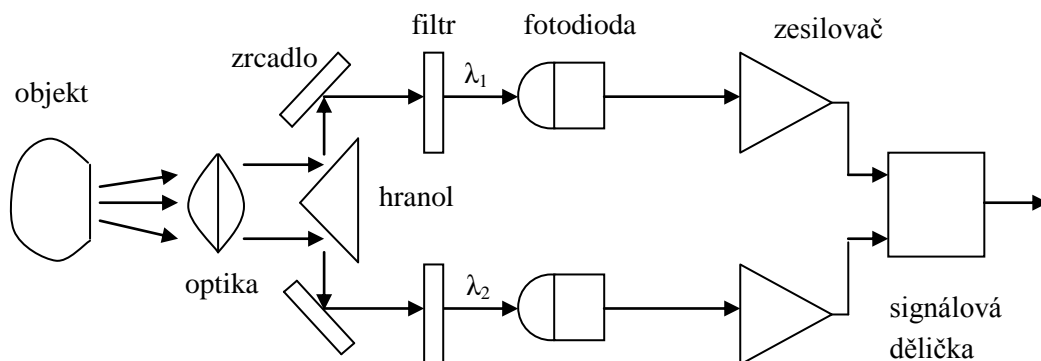
Tyto pyrometry jsou spektrálně selektivní pyrometry, měřící zář na povrchu tělesa ve stanoveném rozsahu vlnových délek neboli, měří teplotu prostřednictvím záření v úzkém pásmu vlnových délek. Šíře pásma je od 10nm do jednotek mikrometru. Pásmo vlnových délek je dáno spektrální citlivostí kvantového detektoru záření, spektrální propustností optiky a optických filtrů, spektrální odrazivostí zrcadel, jak u kvantových tak u tepelných detektorů záření. Pokud je pásmo vlnových délek  $\Delta\lambda$  široké lze pro výpočty v praxi použít Stefan-Boltzmannův zákon (5.2)



Obr. 6 Pyrometr

### 3.4 Poměrové pyrometry

Poměrové pyrometry vyhodnocují povrchovou teplotu objektu na základě poměru dvou zářů při dvou různých vlnových délkách.



Obr. 7 Princip poměrového pyrometru

Pyrometry jsou kalibrovány při tzv. teplotě spektrálního složení, tj. teplotě černého tělesa  $T_0$ , při níž je poměr zářů pro dvě vlnové délky  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  stejný jako poměr zářů u reálného měřeného tělesa, jehož povrchová teplota je  $T_s$ . Je-li tvar křivky spektrální hustoty záře stejný u černého tělesa a u reálného tělesa a využíváme-li vlnových délek viditelného záření, nazývá se teplota spektrálního záření teplotou barvy.

### 3.5 Pyrometry s automatickou korekcí emisivity

Existují také principy umožňující měření teploty bez znalosti emisivity měřeného objektu. Jedním z těchto principů je měření monochromatickým pyrometrem, a to střídavě zář z měřeného předmětu a zář z měřeného předmětu ozářeného laserem s přesně definovanou zář. Laser tvoří součást pyrometru. Pro výpočet emisivity mikroprocesorem zabudovaným v pyrometru platí

$$\varepsilon = 1 - \frac{L_{\lambda 2} - L_{\lambda 1}}{2L_L} \quad 3.2$$

$L_{\lambda 1}$  ... zář dopadající na vstupní optiku pyrometru při vypnutém laseru

$L_{\lambda 2}$  ... zář dopadající na vstupní optiku pyrometru při zapnutém laseru

$L_L$  ... zář dopadající na vstupní optiku pyrometru samotného laseru

[ 2 ]

## 4 Bolometry

Pro náročné bezkontaktní měření teploty v případech, kdy nelze použít pyrometrické detektory nebo infratermočlánky, jsou vhodné tzv. bolometry. Mikrobolometry se pak využívají hlavně pro účely infračerveného snímání obrazu.



Obr. 8 Bolometr

Bolometry jsou senzory pro bezdotykové měření infračerveného záření, které pracují na principu pyrometrie. Častěji se však bolometry vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahující uspořádání několika desítek, stovek nebo tisíců bolometrů do matice, obecně označované jako mikrobolometry.

### 4.1 Hlavní vlastností bolometrů:

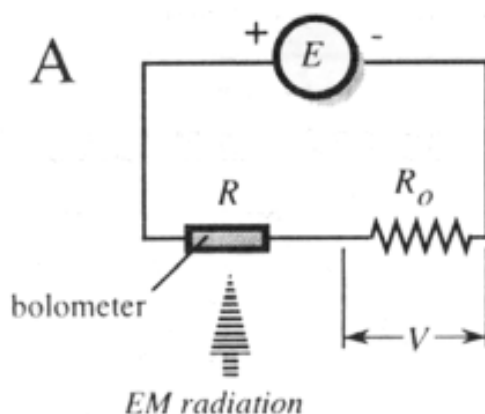
- vysoká rychlost – časová konstanta až 1 ms
- vysoká citlivost
- Spektrální citlivost  $1,6 \div 5000 \mu\text{m}$
- bezproblémové měření vysokých rozsahů teplot měřeného objektu (i nad  $1500^\circ\text{C}$ )
- malé rozměry (mikrobolometry v desítkách  $\mu\text{m}$ )
- žádné ovlivnění měřeného objektu
- u mikrobolometrů velký počet snímačů (přes 80 000) na malé ploše

### 4.2 Použití bolometrů

- detekce ohně a plamenů
- monitorování tepelného zatížení součástí, objektů
- detekce výbuchu
- bezdotykové měření teploty
- měření teploty pohyblivých předmětů
- astronomie
- infračervené kamery a dalekohledy

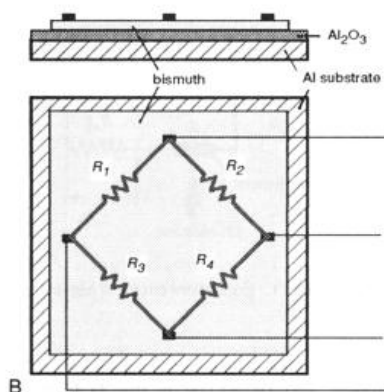
### 4.3 Princip bolometru

Principem bolometrického detektoru je měření elektrického odporu bolometru v závislosti na jeho teplotě, která však závisí na množství absorbovaného dopadajícího infračerveného záření. Množství dopadajícího záření může být tedy určeno ze změn odporu bolometru. Aby však byla změna teploty bolometru úměrná pouze absorbovanému infračervenému záření, musí být vlastní bolometr tepelně izolován od svého okolí.

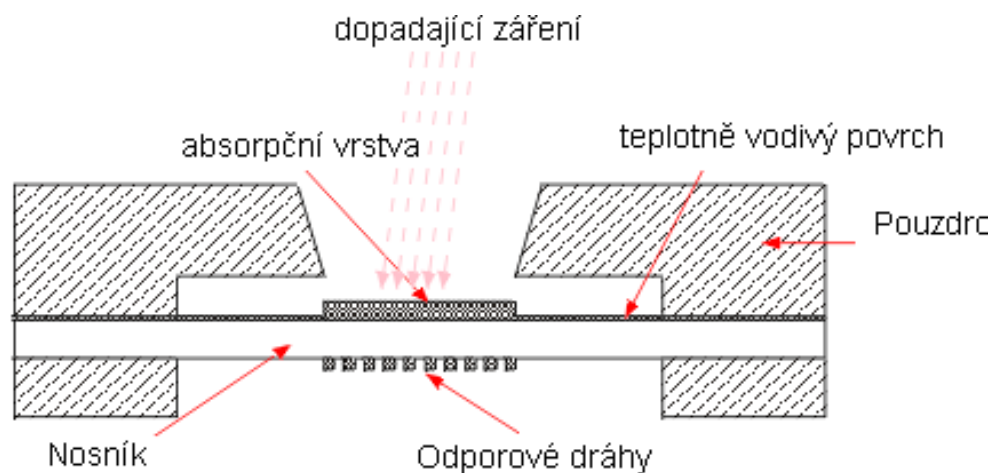


Obr. 9 Princip bolometru

Struktura jednoduchého bolometru je znázorněna na Obr. 11. Infračervené záření dopadá na absorpční vrstvu senzoru tvořenou zlatou fólií, která pohlcuje až 95 % záření. To ohřívá teplotně vodivý povrch i nosník. Na spodní straně nosníku je napařený meandr odporové dráhy, jejíž odpor se mění lineárně s teplotou. Dnes se běžněji realizují bolometry v integrované podobě. Na hliníkové desce odizolované oxidem hliníku  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , jsou na tepelně vodivé podložce z bismutu napařené odporové dráhy z kysličníků  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{TiO}_2$ . V případě jednoduchých bolometrů jsou obvykle použity čtyři odpory vzájemně propojené do klasického Wheatstonova můstku, z nichž se některé používají jako kompenzační nebo referenční (zastíněném proti záření).



Obr. 10 Struktura integrovaného můstku z bolometrů

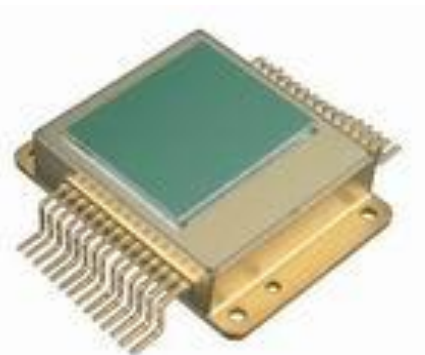


Obr. 11 Princip konstrukčního uspořádání bolometru

#### 4.4 Mikrobolometry

Mikrobolometr (někdy též mikrobolometrové pole) se od jednoduchého bolometru liší počtem odporových plošek na jednom senzoru. Obvykle jde o čtvercovou strukturu (dvourozměrné pole) pokrytých právě teplotně citlivým odporovým materiálem ve formě plošek, který absorbuje infračervené záření (IR radiation) - Obr. 12. Celý mikrobolometrický senzor je pak vyroben jako monolitický křemíkový obvod.

[ 6 ]



Obr. 12 Skutečné provedení mikrobolometru

## 5 Základní zákony pro přenos tepla zářením

Wienův a Stefan-Boltzmannův zákon

Pro tepelné záření černého tělesa platí Wienův posunovací zákon: Vlnová délka, na niž připadá maximum vyzařování černého tělesa, je nepřímo úměrná jeho termodynamické teplotě. S rostoucí teplotou černého tělesa se maximum posouvá směrem k menším vlnovým délkám. Pro intenzitu vyzařování černého tělesa platí Stefan-Boltzmannův zákon: Intenzita vyzařování černého tělesa roste přímo úměrně se 4. mocninou termodynamické teploty tělesa.

### 5.1 Wienův zákon

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \quad 5.1$$

T... termodynamická teplota černého tělesa

$\lambda_m$ ... vlnová délka

b... je konstanta,  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$

### 5.2 Stefan-Boltzmannův zákon

$$M_e = \sigma \cdot T^4 \quad 5.2$$

$M_e$ ... intenzita vyzařování

T... efektivní teplota absolutně černého tělesa

$\sigma$ ... konstanta =  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

[ 3 ]



## 6 Emisivita

Emisivita je definována jako poměr energie vyzařované objektem při jeho dané teplotě k energii vyzařované ideálním tělesem (radiátorem) nebo černým tělesem při stejné teplotě. Emisivita ideálního černého tělesa je 1. Všechny hodnoty emisivity jsou v intervalu 0,0 až 1,0. Většina infračervených teploměrů má kompenzaci emisivity pro různé materiály. Obecně platí: čím vyšší má objekt emisivitu, tím snadněji lze získat přesnou hodnotu teploty měřenou infračerveným teploměrem. Objekty s velmi nízkou emisivitou (pod 0,2) patří k obtížně měřitelným infračerveným teploměrem. Některé leštěné, lesklé, třpytivé kovové povrchy, jako je hliník, jsou tak reflexní v infračervené oblasti, že přesné měření teploty není vždy možné. Je to dáno tím, že termokamera zachytí emisivitu odraženého předmětu.

### 6.1 Metody k získání hodnoty emisivity

Existuje několik postupů, jak určit emisivitu materiálu a zjistit tak i přesnou měřenou teplotu:

- Ohřát vzorek materiálu na známou teplotu s použitím přesného snímače a změřit teplotu i infračerveným teploměrem. Současně nastavit emisivitu na něm tak, aby ukázal shodnou teplotu.
- Pro relativně nízké teploty (do 500°F; resp. 260°C) lze použít "maskovací" pásek s emisivitou 0,95 jako zaměřovací plochu. Pak se nastaví tato emisivita a změří se správná teplota objektu. Při měření mimo tento pásek se musí nastavit emisivita tak, až je dosažena na indikátoru shodná teplota.
- Pro měření vysoké teploty lze vyvrtat do objektu otvor s hloubkou asi 6 krát průměr. Tento otvor se chová jako černé těleso s emisivitou 1. Při měření teploty v tomto otvoru nastavte uvedenou emisivitu a změřte správnou teplotu. Při měření mimo tento otvor nastavujte emisivitu tak, až obdržíte na indikátoru shodnou teplotu.
- Jestli lze materiál nebo jeho část pokrýt matnou černou barvou, bude mít emisivitu přibližně 1. Změří se teplota povrchu s barvou a pak skutečného povrchu a emisivita se nastaví tak, aby se údaj na teploměru shodoval.

[ 7 ]

Tab. 1 Hodnoty emisivit

Azbestová deska	0,96	Měď, oxidovaná	0,88
Azbestová látka	0,78	Mosaz, matná, zašlá	0,22
Azbestový papír	0,94	Ocel, pozinkovaná	0,28
Bronz, leštěný	0,10	Ocel, rezavá	0,69
Bronz, porézni, drsný	0,55	Ocel, hrubý povrch	0,96
Cín, leštěný	0,05	Ocel, silně oxidované	0,88
Elektrická páska, černá plastová	0,95	Oceli, čerstvě válcované	0,24
Hliník, hrubý povrch	0,07	Platina, čisté, vyleštěné	0,08
Hliník, leštěný	0,05	Porcelán, glazovaný	0,92
Hliník, silně oxidovaný	0,25	Pryž	0,93

Chrom, leštěný	0,10	Sklo	0,92
Jíl, vypálený	0,91	Sklo, matné	0,96
Lak, bílý	0,87	Uhlík, čištěný	0,80
Lak, olejový, průměrný	0,94	Wolfram	0,05
Lepenky	0,92	Zlato, leštěné	0,02
Litiny, leštěný	0,21	Železo, kované, leštěné	0,28
Litiny, surové odlitky	0,81	Železo, lesklé, leptané	0,16
Nátěr, stříbrné provedení **	0,31	Železo, oxidované	0,74
Měď, leštěná	0,01	Železo, plechy, pozinkované, oxidované	0,28
Měď, komerčně vyleštěná	0,07	Železo, pozinkovaný plech, leštěné	0,23
Měď, oxidovaná	0,65	Železo, válcované	0,77

\*\* Nátěr se stříbrným povrchem je měřen při teplotě 25 °, smaltovaný při 27 ° C

## 7 Termokamery

Teplotu lze měřit bodově, tak jak měří pyrometry, s různou velikostí snímané plochy, nebo plošně. Požadavek plošného (2D) měření původně zavedla armáda. Začátek využívání termografické techniky mimo vojenské aplikace představila v roce 1965 švédská firma AGA Infrared Systems, která ve svém systému AGA Termovision 665 využívala elektromechanického rozkladu. K chlazení detektoru používala tekutý dusík. Díky vývoji nových mikroelektronických prvků se tato technika rychle rozvíjela.

Pro vojenské účely se stále ještě používají přístroje pro noční vidění (noktovizory), které jako detektory používají fotonásobiče. Ty zesilují velmi malý (zbytkový) odrážený zářivý tok na měřitelnou úroveň. Noktovizory se postupně zdokonalovaly a z původní I, II, se dnes používají již noktovize III. Generace.

Termovize je vývojově mladší než noktovize a pracuje na principu transformace tepelného záření na viditelný obraz. Zobrazení je ale v tzv. falešných barvách, neodpovídajících skutečnosti. Teprve použití elektronicky chlazených detektorů umožnilo podstatně zlepšit citlivost a tak zpracovat signály z oblasti infračerveného spektra záření cca 1 a více  $\mu\text{m}$ .

Dosahované rozlišení cca 0,1 °C dává termokamerám obrovské možnosti. Původní pomalý elektromechanický rozklad obrazu byl nahrazen použitím maticových detektorů rychlým rozkladem elektronickým. Termovize umožnila nejen noční vidění, ale též vidění, kdy sledovaný objekt je sám zdrojem IR záření. Měření termokamerami může být tedy realizováno i v tzv. úplné tmě, tj. bez zbytkového světla ve viditelném spektru.

[ 1 ]

Tab. 2 Parametry termokamery FLIR E45

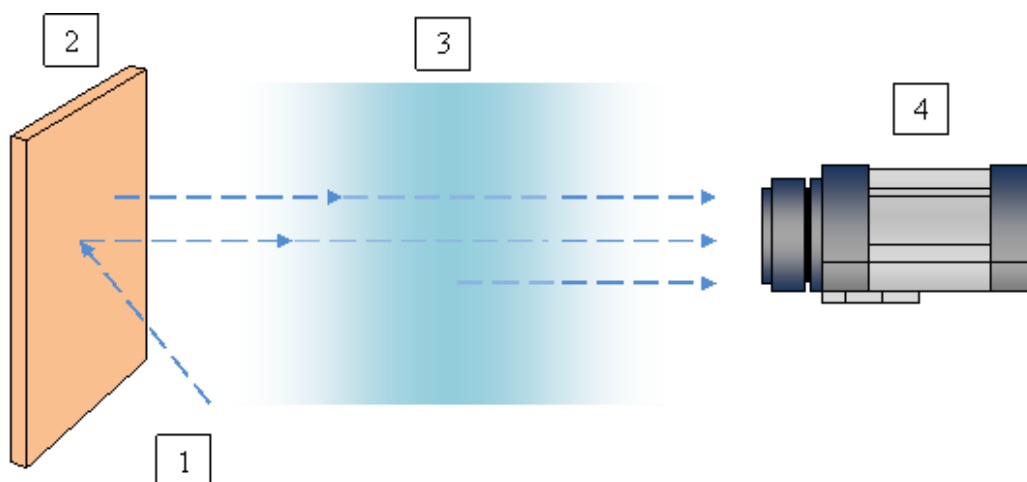
Spektrální rozsah	7,5 až 13 $\mu\text{m}$
Teplotní rozsahy	-20 až + 250 ° C (-4 až + 482 ° F)
Přesnost	$\pm 2$ ° C, $\pm 2\%$
Hmotnost	700g
Možnost uložení	200obrazku
formáty souborů	JPEG
Externí display	2,5'' LCD
Termální citlivost	0,1°C při 25°C
Rychlost zápisu obrázku	50Hz
přenos snímků do PC	USB, RS-232
zapouzdření	IP54
Baterie	Typ Li-Ion, nabíjecí, vyměnitelná
Provozní doba 2 hodiny nepřetržitého provozu. Na displeji se zobrazuje stav baterie	



Obr. 13 Termokamera FLIR E45

## 7.1 Princip termovizního systému

Termovizní kamera či pyrometr snímá záření nejen samotného objektu, ale také odražené záření z okolí na jeho povrch. Obě záření jsou do jisté míry zeslabována atmosférou mezi detektorem a měřeným objektem. Kromě toho je třeba vzít v úvahu záření atmosféry. Tato situace měření (Obr. 14) poměrně věrně popisuje reálné podmínky (neuvažuje těžko kvantifikovatelné sluneční světlo rozptýlené v atmosféře nebo bludné záření ze zdrojů intenzivního záření mimo zorné pole – uvedené faktory lze pro jejich nepatrnost zanedbat). Z toho vyplývá, že termovizní systém vyžaduje nastavení určitých parametrů, bez kterých nelze teplotu vyhodnotit. Proto každý měřicí termovizní systém musí být také vybaven korekcí zmíněných parametrů.



Obr. 14 Schematický náčrt obecného termovizního systému (1 – okolí, 2 – objekt, 3 – atmosféra, 4 – kamera/snímač)

Jelikož však vlastní emitance (schopnost tělesa vyzařovat IR záření) je u objektů různá, je pro korektní měření nutné znát parametr zvaný emisivita (poměr vlastní vyzážené energie k odražené energii). U většiny objektů je tento parametr dostatečně vysoký, ale např. u kovů je nízký (větší odražená IR složka záření než vlastní emitovaná). V těchto případech je bezkontaktní měření teploty reálné, ale při dodržení určitých postupů či použití pomůcek (speciální nátěry a fólie se stanovenou emisivitou).

[ 5 ]

## 8 Přehřívání vedení

Průběh oteplení vedení a dosažení její konečné hodnoty teploty za různých provozních stavů od různě se měnícího zatížení až po zkraty je sice fyzikálně určeným a početně zvládnutelným procesem, jeho předpověď je však dosti složitá. V nutné míře se touto problematikou zabývají technické normy, zejména ČSN 33 2000-4-43:1993, ČSN 33 2000-5-523:1993, včetně národní přílohy NL, a stará ČSN 34 1610:1963.

Pro účely kontrol jsou potřebné alespoň tyto základní znalosti:

Výrobce vodičů a kabelů udává pro každý druh a průřez vodiče nebo kabelu jmenovitou proudovou zatížitelnost. Ta je stanovena pro základní způsob uložení vodiče nebo kabelu. Jestliže se vodič nebo kabel nachází v základním způsobu uložení a je zatížen na jmenovitou proudovou zatížitelnost, dosahuje právě nejvyšší dovolené provozní teploty. Protože skutečné uložení vedení se od těchto základních způsobů liší, je nutné jmenovitou proudovou zatížitelnost upravit přepočítacími součiniteli proudové zatížitelnosti. Ty jsou pro různé způsoby uložení, různou teplotu, druhy prostředí a různé provozní podmínky uvedeny v ČSN 33 2000-5-523 v tabulkách. Vedení (jádro izolovaného vodiče i jeho povrch) se otepluje i chladne podle křivek. Jejich strmost závisí na vlastnostech izolačního obalu vodiče i na vlastnostech (teplotě a tepelné vodivosti) okolí. Pro výpočet doby, za niž vodič dosáhne určité teploty, je významná časová oteplovací konstanta, kterou ke každému druhu i průřezu vodiče udává jeho výrobce. Ve své podstatě je to doba, za niž exponenciálně rostoucí nebo klesající veličina dosáhne určité hodnoty. Podle ní lze určit dobu, za niž vodič nebo kabel daného druhu, průřezu a uložení dosáhne těchto směrodatných teplot:

nejvyšší dovolené provozní teploty,  
nejvyšší dovolené teploty při proudovém přetížení,  
nejvyšší dovolené teploty při zkratu.

Všechny tyto mezní teploty určuje pro jednotlivé druhy vodičů (kabelů) technická norma ČSN 33 2000-4-43 v tabulce 43-NA1. Doby, za něž vodič nebo kabel dosáhne těchto mezních teplot, jsou rozhodující pro správnou volbu jističe před přetížením a zkratem. Při tom hraje nezanedbatelnou roli způsob zatěžování vedení, jež může být trvalé, dlouhodobé, krátkodobé s odlehčením nebo krátkodobé s vypínáním.

[ 8 ]

**Tab. 3 Nejvyšší dovolená teplota jader vodičů a kabelů při proudovém přetížení a při zkratu**

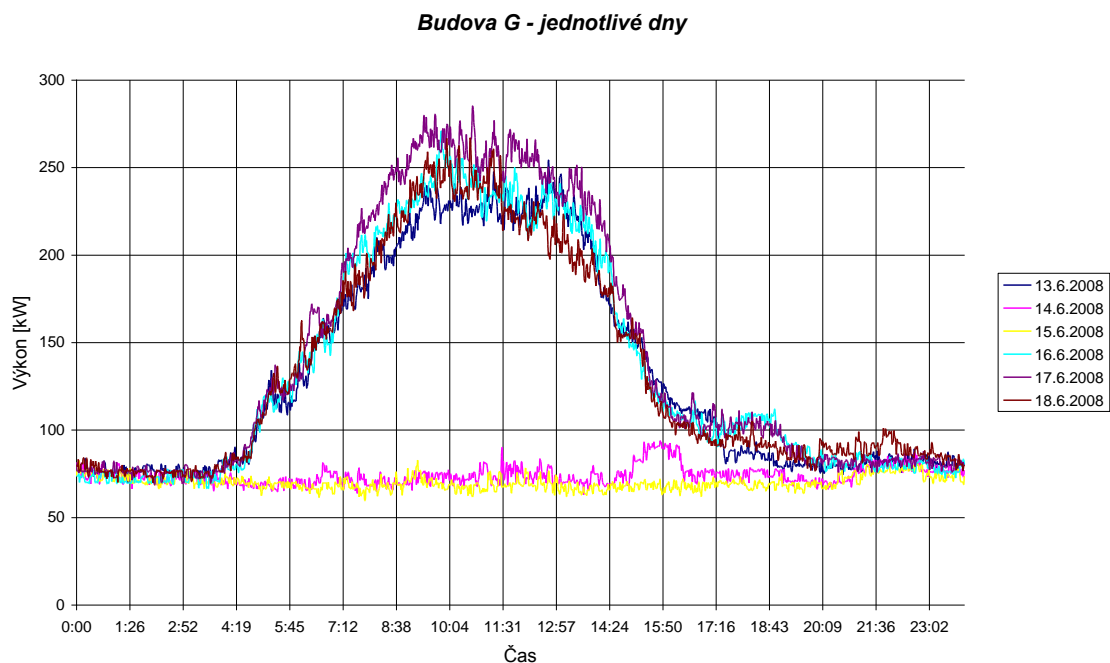
Druh vodiče - kabelu	Izolace			Základní teplota okolního vzduchu	Nejvyšší dovolená provozní teplota	Nejvyšší dovolená teplota	
	zkratka názvu	typ směsi	značka			Při proudovém přetížení	Při zkratu
Izolované vodiče a kabely do 1 kV s Al a Cu jádry s izolací							
Polyvinylchlorid měkčený	PVC	Y-01	Y (M)	30	70	120	160 140 150
		Y-02					
		Y-03					
		Y-04					
		Y-05					
		Y-11	Q	30	85		
		Y-51	-	30	70	-	200 (300)
		Y-52	-				
Elastomery na bázi přírodního nebo syntetického kaučuku	guma pryž kaučuk	G-01	G	30	60	120	200
		G-02	G,B		80		220
		G-03	B		90		
		G-04	-		120	150	250
		G-05	S	90	180	250	350
		G-06	-	30	90	130	250
		G-51	-		60	-	-
		G-52	-				
		G-53	-				
		G-54	-				
		G-81	-				
Etylenpropyle-nová pryž	EPR	-	-	30	90	130	250
Polyetylen	PE	-	E	30	70	-	150 130
Zesíťovaný polyetylén	PRC XPE XLPE	-	X	30	90	120	250
Polotetra-fluoretylén	PTFE	-	-	90	200	300	300
Fluorovaný etylén -propylén	FEP	-	-	90	200	250	250
Napuštěný papír normální nemigrující	-	-	N	30	80	120	200
			M				
Skleněné vlákno				90	130	180	300
Izolované vodiče a kabely nad 1 kV s Al a Cu jádry izolací							
Napuštěný papír do 6 kV do 10kV 22 kV 35kV		-	N	30	80	-	200
					75		
					70		
					65		150
Elastomery na bázi přírodního			G	30	60	-	150

nebo syntetického kaučuku do 10 kV								
Polyvinylchlorid od 1 kV do 10 kV	PVC		Y	30	70	-	160	
Termoplastický polypropylen	PE		E	30	70	-	130	
Síťovaný polyetylén od 1kV do 30kV	XLPE		X	30	90	-	250	
Etylén- propylenová pryž od 1kV do 30kV	EPR		-	30	90	-	250	
Holé vodiče plné nebo slané Al nebo Cu mechanicky nezatížené	-	-	-	30	80	180	300	
Holé vodiče plné nebo slané Al nebo Cu mechanicky zatížené							200	
Slitina hliníku						150	170	
Ocel mechanicky zatížená						180	250	
Ocel mechanicky nezatížená							300	
Holé ochranné vodiče, kde není žádné nebezpečí poškození sousedního materiálu při uvedených teplotách pro tyto podmínky								
Viditelné a omezené plochy							Cu	500
							Al	300
							Fe	500
Normální podmínky Cu, Al, Fe							200	
Nebezpečí ohně Cu, Al, Fe							150	

## 9 Měření v rozvodnách elektrické energie na VŠB-TUO

V areálu VŠB-Technická Universita Ostrava jsem provedl termovizní měření, které se provádělo 6. dubna 2010 v ranních hodinách, přesněji v rozmezí mezi 10:00 – 11:30 hodin. Měřilo se v rozvodnách nn a vn budovách rektorátu „A“ a centrální analytické laboratoře „N“.

Dobu měření jsem určil podle grafu (viz Obr. 15), ze kterého bylo zřejmé, kdy je nejvhodnější provádět měření v době s co možná největším proudem a tudíž největším zahříváním zařízení.



Obr. 15 Graf zatížení budovy G v areálu VŠB-TUO

Termovizní měření je měření teploty různých druhů poruch, kde má teplota zásadní význam. Tyto poruchy mohou vznikat např. průchodem velkého proudu daného zatížením zařízení nebo špatného kontaktu mezi vodičem a příslušným zařízením. V mém případě se jednalo právě o poruchy, kde ve spojích vodiče a zařízení byl velký průchod proudu. Na Obr. 16 je zřejmé zahřívání výstupního kontaktu nožové pojistky na jedné fázi.





Obr. 16 Termovizní snímek nožové pojistky

Měření jsme prováděli tak, že jsme nejdříve vyhledali místo s předpokládaným výskytem poruchy. S použitím Thermocam E45 od firmy FLIR, jsme namířili na daný objekt, který jsme chtěli vyhodnotit. Po zaostření na dané místo poruchy byl snímek uložen v paměti termokamery. Poté jsme toto místo znova vyfotili běžným fotoaparátem pro lepší porovnání vyhodnocení. Následně jsme místo poruchy změřili klešťovým ampérmetrem pro zjištění hodnoty procházejícího proudu daným zařízením. Hodnoty jmenovitého proudu jsme odečítali i ze štítků jednotlivých zařízení nebo ze zjištění rozsahu měřících transformátorů proudu. Po těchto úkonech jsme přenesli fotky do PC pomocí vyhodnocovacího programu dodávaného k termokameře. Pomocí tohoto programu jsem vytvořil Termovizní zprávu.

V termovizní zprávě většina snímků nevykazuje poruchový stav. Jen snímky číslo 12 - Kobka 1 rozvodny budovy „A“, číslo 14 - Kobka 2 rozvodny budovy „A“ a číslo 15 - Kobka 3 rozvodny budovy „A“ prokazují částečný poruchový stav.

Při měření jsme dodržovali bezpečnost práce použitím osobních ochranných pracovních prostředků. Těmito ochrannými pomůckami byly dielektrické rukavice a ochranná přilba proti úrazu elektrickým proudem.

## 10 Závěr

Termovize je spolehlivý pomocník při kontrole elektrických rozvodů. Termovizní měření je nástrojem pro určování problémových oblastí při nedokonalém spojení dvou vodičů, kterými protéká elektrický proud. Protože se kontrola uskutečňuje za stálého provozu zařízení pod zatížením, lze jej měřit velmi často. Závady sou tímto objevované již v počátečním stádiu, což je velmi výhodné na ekonomiku provozu při pravidelných odstávkách zařízení z provozu.

V této práci popisují několik přístrojů, které se mohou při těchto měřeních v elektrotechnice v praxi použít.

Cílem této bakalářské práce bylo provést revizi v rozvodně a zjistit, zdali nehrozí porucha na elektrickém zařízení. V areálu VŠB-Technické Univerzity Ostrava se postupem času rozvodny předělávají do modernizovaných zakrytovaných rozvodů, kde není možné provádět toto měření. Proto bylo naše měření uskutečňováno na budovách N a A, kde se dá provést. Pomocí termokamery FLIR E45, se kterou jsme prováděli toto měření, se na jednotlivých snímcích prokazovaly drobné závady, na které byl provozovatel údržby rozvodny upozorněn.

Součástí této bakalářské práce je přiložena Termovizní zpráva vyhotovená z tohoto měření – viz příloha.

## 11 Literatura

- [ 1 ] LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*, BEN-technická literatura, Praha, r. 2005
- [ 2 ] KREIDL, Marcel. *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*, BEN-technická literatura, Praha, r. 2005
- [ 3 ] *Záření absolutně černého tělesa* [online]; dostupné z <[http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13\\_act/13\\_act.htm](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm)>
- [ 4 ] *Bezdotykové teploměry* [online]; dostupné z <[http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt\\_fpbt/laboratore/Bezdotykove\\_teploмеры.pdf](http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/Bezdotykove_teploмеры.pdf)>
- [ 5 ] *Elektro odborný časopis pro elektrotechniku*, Měření teploty – bezkontaktní teploměry a termovizní kamery [online]; dostupné z [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26549](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26549)
- [ 6 ] FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*, BEN-technická literatura; Praha, r.2007
- [ 7 ] *OMEGA engineering – technická reference*, Infrateploměry – přístroje pro bezkontaktní měření [ online ]; dostupné z <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/infraredthermometer.html>
- [ 8 ] *Elektro odborný časopis pro elektrotechniku*, Bezpečnost elektrických zařízení v období přechodu pravidel na mezinárodní soustavu [ online ]; dostupné z [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=23905](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23905)